



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
DE 44 04 745 C 2

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 F 23/284
H 04 B 1/38

②1 Aktenzeichen: P 44 04 745.2-52
②2 Anmeldetag: 15. 2. 94
④3 Offenlegungstag: 17. 8. 95
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 6. 3. 97

DE 44 04 745 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
VEGA Grieshaber KG, 77709 Wolfach, DE

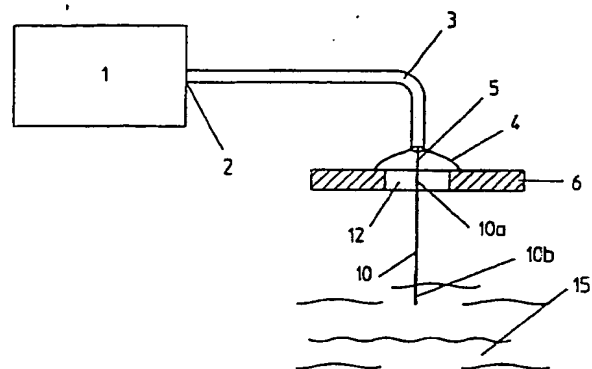
⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Westphal, Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen

⑦2 Erfinder:
Fehrenbach, Josef, 77716 Haslach, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
AT 2 01 307
EP 01 62 821 A1

⑤4 Füllstandmeßvorrichtung

⑤7 Füllstandmeßvorrichtung mit einer Sende- und Empfangseinrichtung (1) und einem mit einem Ende (10a) an die Sende- und Empfangseinrichtung (1) gekoppelten Wellenleiter, welcher mit seinem anderen Ende (10b) zum Eintauchen in ein Füllgut (15) vorgesehen ist und welchem von der Sende- und Empfangseinrichtung (1) elektromagnetische Wellen zuführbar sind, wobei im Wellenleiter reflektierte elektromagnetische Wellen in der Sende- und Empfangseinrichtung (1) zur Füllstandmessung auswertbar sind, dadurch gekennzeichnet sind, daß der Wellenleiter ein Einzelleiter (10) ist, auf welchem die elektromagnetischen Wellen geführt werden, wobei der Einzelleiter (10) direkt oder über ein Übertragungskabel (3) an die Sende- und Empfangseinrichtung (1) angeschlossen ist.



DE 44 04 745 C 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Füllstandmeßvorrichtung gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Füllstände werden anhand unterschiedlichster Meßtechniken bestimmt. Zum einen ist es möglich, den Füllstand mittels elektromagnetischer Wellen berührungslos zu messen, während bei einem anderen Meßprinzip ein Meßfühler in direkten Kontakt mit dem Füllgut gebracht wird abhängig vom Füllgut, Behälter, etc. ist zu entscheiden, welches Meßverfahren geeignet ist.

Ein Meßprinzip besteht darin, Radar-Impulse in Richtung Füllgutoberfläche abzustrahlen. Die Radar-Impulse werden an der Füllgutoberfläche ausreichend gut reflektiert, sofern das Füllgut eine Dielektrizitätskonstante von etwa größer als 2 aufweist. Die Laufzeit der Radar-Impulse vom Aussenden bis zum Empfang am Sensor wird gemessen und damit eine Bestimmung der Entfernung zwischen Radar-Sender und Füllgutoberfläche ermöglicht.

Der wesentliche Vorteil dieses Meßverfahrens liegt in der berührungslosen Messung und der weitgehend universellen Einsetzbarkeit im Hinblick auf die Füllgüter. Nachteilig an diesem Meßverfahren ist der verhältnismäßig hohe Preis aufgrund der hochfrequenten Bauteile und der aufwendigen Elektronik.

Beim kapazitiven Meßprinzip wird dagegen eine Meßelektrode in das Füllgut getaucht. Die Meßelektrode und die elektrisch leitende Behälterwand bilden einen Kondensator, dessen Kapazitätswert abhängig vom momentanen Füllstand ist. Der Vorteil dieses Meßverfahrens liegt in einem günstigen Preis und in einer wenig aufwendigen Auswertelektronik. Nachteilig ist, daß die Dielektrizitätskonstante des Füllgutes genau bekannt sein muß. Eine sich ändernde Dielektrizitätskonstante des Füllgutes führt nämlich zu fehlerhaften Meßergebnissen.

Darüber hinaus ist mittlerweile eine weitere Füllstandmeßvorrichtung bekanntgeworden, die nach dem Impuls-Laufzeit-Verfahren arbeitet, wobei elektromagnetische Wellen nicht von einer Antenne aus in den Freiraum eines Behälters abgestrahlt, sondern entlang eines Wellenleiters zur Füllgutoberfläche geleitet werden. Nach Reflexion an der Füllgutoberfläche infolge des dort auftretenden Impedanzsprunges läuft der reflektierte Teil der elektromagnetischen Wellen zurück zur Einkoppelstelle und damit zur Empfangseinrichtung der Füllstandmeßvorrichtung.

Eine solche Füllstandmeßvorrichtung ist am 11. Mai 1993 in Utrecht, Niederlande, anlässlich des Kongresses "Studiedag Industriële Niveaumetingen ten Behoeve van Processen en Voorraden" von Dr. G. K. A. Oswald während seines Vortrages "Multi-Phase Fluid Level Measurement by Time-Domain Reflectometry" bekannt geworden. Die dort beschriebene Füllstandmeßvorrichtung weist eine Sende- und Empfangseinrichtung auf, an die ein Wellenleiter bestehend aus zwei parallelen Elektroden angeschlossen ist. Diese zwei parallelen Elektroden werden in einen Behälter derart eingesetzt, daß sie in die zu messende Füllgutoberfläche oder Füllgutoberflächen eintauchen. Mit Hilfe eines sog. TDR-(Time-Domain-Reflectometry; deutsch: Gleichstrom-Impuls-Reflektometrie)-Verfahrens werden sehr kurze elektrische Impulse im Bereich von einer Nano-Sekunde oder weniger entlang der aus zwei parallelen Leitern bestehenden Meßsonde in Richtung Füllgut gesandt. Die Impulse werden reflektiert, sobald sie auf eine Änderung in den

Leitern oder in dem sie umgebenden Medium stoßen. Aus der Laufzeit zwischen Aussenden der elektromagnetischen Wellen und Empfang der reflektierten elektromagnetischen Wellen ermittelt die Sende- und Empfangseinrichtung den zu messenden Füllstand im Behälter.

Die beiden Leiter der zur Verwendung vorgesehenen Meßelektrode können auf unterschiedlichste Weise zueinander angeordnet sein. So beschreibt Oswald Meßsonden mit zueinander koaxial angeordneten Leitern, parallelen Platten- und Stangenelektroden, eine Doppeldrahtleitung, Mikrostripsonden mit übereinander und nebeneinander liegenden Elektroden und eine rohrförmige Mikrostripleitung. Wesentlich bei allen von Oswald vorgestellten Meßelektroden ist die Verwendung von zwei in vorgegebener Weise zueinander parallel angeordneten Leitern.

Darüber hinaus sieht Oswald vor, den TDR-Meßsensor in Form von zwei parallel zueinander angeordneten Elektroden durch geeignete Auswahl der Dicke der die beiden Leiter umgebenden bzw. trennenden dielektrischen Schichten an die Flüssigkeitscharakteristika des Füllgutes anzupassen.

Der wesentliche Vorteil der von Oswald beschriebenen Meßvorrichtung besteht darin, daß die Mikrowellen nicht in die Umgebung abgestrahlt werden, sondern auf dem Zweidrahtleiter in Richtung Füllgut geleitet werden. Hierdurch entstehen wesentlich weniger Fehlechos als bei einer Abstrahlung über eine Antenne. Darüber hinaus ist die Signaldämpfung durch Führung der elektromagnetischen Wellen auf dem Zweidrahtleiter geringer als bei Abstrahlung über eine Antenne. Schließlich ist es mit dieser bekannten Füllstandmeßvorrichtung auch möglich die unterschiedlichen Füllhöhen von komplexen Füllgütern, die mehrere unterschiedliche Füllgutschichten aufweisen, exakt zu messen. Darüber hinaus ist es möglich, auf dem Zweidrahtleiter elektromagnetische Wellen mit nahezu beliebiger Frequenz bis herunter zum Gleichstrom in Richtung Füllgutoberfläche zu senden.

Eine weitere Einrichtung zur Füllstandmessung ist in EP 0 162 821 A1 beschrieben. Dort werden elektromagnetische Wellen nach Art eines Hohlleiters innerhalb eines rohrförmigen Wellenleiters geführt. Hierfür verfügt die Meßvorrichtung über eine Antenneneinrichtung, die die elektromagnetischen Wellen in den Innenraum des rohrförmigen Wellenleiters abstrahlt. Der rohrförmige Wellenleiter dient als Hohlleiter, der von einem Hornstrahler mit elektromagnetischen Wellen gespeist wird.

In AT-PS 201 307 ist eine Füllstandmeßvorrichtung mit einer Meßleitung beschrieben. Die Meßleitung muß zwingenderweise eine Zweidrahtleitung sein und damit aus einem ersten und einem zweiten Leiter bestehen. Insoweit ähnelt diese bekannte Füllstandmeßvorrichtung der von Oswald beschriebenen Meßvorrichtung.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die zuletzt genannte Füllstandmeßvorrichtung weiter zu vereinfachen. Darüber hinaus soll in einer Weiterbildung der Erfindung eine möglichst gute Anpassung zwischen der Sende- und Empfangseinrichtung und dem Wellenleiter erreicht werden.

Diese Aufgabe wird bei der bekannten Füllstandmeßeinrichtung durch einen mit der Sende- und Empfangseinrichtung verbundenen Wellenleiter erreicht, der nur aus einem Einzelleiter besteht, wobei der Einzelleiter direkt oder über ein Übertragungskabel an die Sende- und Empfangseinrichtung angeschlossen ist.

Gemäß der Erfindung ist es demnach möglich, auch nur mit einem Einzelleiter eine für die Füllstandmessung ausreichende Reflexion von elektromagnetischen Wellen an einer Füllgutoberfläche zu erreichen, wobei die Reflexion zur Füllstandbestimmung herangezogen wird. Im Gegensatz zum Stand der Technik, der zwingend einen zweiten Leiter vorsieht, reicht also bereits eine einzige Elektrode aus, um nach dem TDR-Verfahren den Füllstand von Füllbehältern in zufriedenstellender Weise bestimmen zu können.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Der erfindungsgemäß an die Sende- und Empfangseinrichtung angekoppelte Einzelleiter kann als flexibler Einzeldrahtleiter bzw. als feststehendes Rohr bzw. feststehender Stab ausgebildet sein. Während die Ausbildung als flexibler Einzeldrahtleiter das Messen großer Füllstandhöhen erlaubt, ist ein feststehendes Rohr bzw. feststehender Stab dort vorteilhaft, wo es auf eine mechanische Stabilität der Meßsonde ankommt. Soll während des Befüllvorganges eines Behälters der Füllstand ermittelt werden, so ist es günstig, eine möglichst feststehende Meßsonde in Form eines Stabes oder Rohres oder eventuell dicken Seiles vorzusehen, da eine derartige Meßsonde vom Füllgut nicht so einfach verformt bzw. weggerissen werden kann als ein flexibles Seil. Darüber hinaus haben Versuche gezeigt, daß sich unerwünschte Krümmungen bzw. Verformungen an der Meßelektrode in Form von zusätzlichen Dämpfungen der elektromagnetischen Wellen auswirken.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, den Einzelleiter aus Edelstahl zu bilden. Dies hat den Vorteil, daß eine chemische Reaktion bzw. Zersetzung des Einzelleiters durch aggressives Füllgut nahezu ausgeschlossen ist. Im Hinblick auf Lebensmittel, die als Füllgut eingesetzt werden, ist es darüber hinaus wichtig, daß die Meßsonde in Form des erfindungsgemäßen Einzelleiters aus Edelstahl besteht.

Eine andere Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß ein unisolierter Einzelleiter als Meßsonde eingesetzt wird. Die Verwendung von unisolierten Einzelleitern als Meßsonde ergibt im Vergleich zu isolierten Einzelleitern, die jedoch grundsätzlich auch erfindungsgemäß einsetzbar sind, bessere Meßergebnisse, da unisolierte Einzelleiter eine geringere Dämpfung und somit bessere Reflexionen der elektromagnetischen Wellen ermöglichen.

Problematisch bei der erfindungsgemäßen Füllstandmeßvorrichtung ist die in der Regel vorhandene Fehlanpassung zwischen dem Ausgang der Sende- und Empfangseinrichtung und dem angekoppelten Einzelleiter. Solche Fehlanpassungen verursachen Impedanzsprünge und führen zu unerwünschten Reflexionen der elektromagnetischen Wellen. In einer Weiterbildung der Erfindung wird deshalb ein Anpassungstrichter vorgesehen, der eingangsseitig an einem Ende des erfindungsgemäßen Einzelleiters anzuordnen ist.

Des weiteren ist in einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, zwischen den erfindungsgemäßen Einzelleiter und dem Ausgang der Sende- und Empfangseinrichtung ein Übertragungskabel, insbesondere ein Koaxialkabel, anzuordnen. Ein solches Kabel dient lediglich der elektrischen und mechanischen Verbindung des Ausgangs der Sende- und Empfangseinrichtung mit der Meßsonde in Form des Einzelleiters. Durch das Vorsehen eines derartigen Übertragungskabels zwischen Sende- und Empfangseinrichtung und Meßsonde ist ein hohes Maß an Flexibilität hinsichtlich des Auf-

baus der erfindungsgemäßen Füllstandmeßvorrichtung geben. Die Sende- und Empfangseinrichtung kann durch ein derartiges Übertragungskabel von einem Speisepunkt des erfindungsgemäßen Einzelleiters örtlich entfernt angeordnet sein.

Bei Verwendung eines Koaxialkabels zum Zuführen der elektromagnetischen Wellen an ein Ende des erfindungsgemäßen Einzelleiters ist es vorteilhaft, den bereits erwähnten Anpassungstrichter einzusetzen, um den Wellenwiderstand des Koaxialkabels an den Wellenwiderstand des erfindungsgemäßen Einzelleiters anzupassen. Hierbei ist der eine Eingang des Einzelleiters mit dem Innenleiter des Koaxialkabels zu verbinden und der Außenleiter des Koaxialkabels an den aus elektrisch leitendem Material bestehenden Anpassungstrichter anzuschließen. Der Anpassungstrichter weist hierbei eine trichterartige Kontur auf, die sich in Richtung Füllgutoberfläche aufweitet. Einzelheiten werden hierzu im Zusammenhang mit der Figurenbeschreibung noch erläutert.

Die erfindungsgemäße Füllstandmeßvorrichtung ist nicht nur zur Füllstandmessung nach dem Impuls-Laufzeitverfahren, sondern für jegliche Füllstandmeßverfahren geeignet, bei denen es auf die Reflexion von elektromagnetischen Wellen an der Füllgutoberfläche ankommt. Beispiele für solche Füllstandmeßprinzipien sind neben dem Impulslaufzeitverfahren auch das sog. Chirp- und CW/FMCW-Radarverfahren.

Das Chirp-Radar-Prinzip unterscheidet sich vom Puls-Radar durch die Technik der Pulserzeugung und -kennung. Die ausgesendeten Signale haben eine längere Laufzeit, sind aber im Pulsspektrum frequenzmoduliert. Die empfangenen Signale werden in der Sende- und Empfangseinrichtung gefiltert, wobei die niedrigeren Frequenzen zu den höheren Frequenzen zeitverzögert sind.

Das CW/FMCW-(Continuous-Wave bzw. Frequency-Modulated-Continuous-Wave)-Radar unterscheidet sich vom Puls-Radar bzw. Chirp-Radar im wesentlichen in der Erzeugung, Erkennung und Auswertung der Mikrowellensignale. Zum Messen von absoluten Entfernungen, wie bei der Füllstandmessung, bietet sich das frequenzmodulierte Dauerstrichverfahren mit konstanter Amplitude an (= FMCW). Hierbei wird ein lineares Sägezahn- oder ein dreieckiges frequenzmoduliertes Mikrowellen-Signal mit konstanter Amplitude über eine Antenne vom Sender abgestrahlt und an einem Objekt reflektiert. Die Anstiegs- und Abfallzeit der Modulationsfrequenz muß dabei so groß sein, daß das reflektierte Signal vor Ablauf der Modulation den Empfänger erreicht. Die Frequenzmodulation findet im Gigahertzbereich statt. Das reflektierte und nach einer Verzögerungszeit wieder empfangene Mikrowellensignal wird mit einem Teil des Sendesignals, dessen Frequenz sich zwischenzeitlich geändert hat, gemischt und die Zwischenfrequenz ausgefiltert. Die Frequenz des Mischausgangssignals ist bei konstanter Füllgutoberfläche direkt proportional der Verzögerungszeit und somit ein exaktes Maß für die Distanz zum reflektierenden Medium und damit der zu bestimmenden Füllgutoberfläche.

Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Füllstandmeßvorrichtung besteht auch darin, daß als Einzelleiter, auf dem die elektromagnetische Welle geführt wird, diejenigen Meßelektroden verwendet werden können, die ohnehin beim kapazitiven Meßverfahren eingesetzt werden bzw. aus dem Lotbau für das elektromechanische Lotverfahren wird vor allem bei der Niveau-

messung von Schüttgütern eingesetzt, läßt sich aber auch prinzipiell für Flüssigkeiten anwenden. Meßprinzip ist ein Senklot, das an einem Seil so lange heruntergelassen wird, bis sich die Seilkraft beim Auftreffen auf die Oberfläche des Füllgutes ändert.

Die erfindungsgemäße Füllstandmeßvorrichtung und deren Vorteile werden im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer Füllstandmeßvorrichtung mit Einzelleiter gemäß der Erfindung.

Fig. 2 eine Schnittansicht eines Ausschnittes einer erfindungsgemäßen Füllstandmeßvorrichtung mit Einzelleiter und Anpassungstrichter,

Fig. 3 ein Diagramm zur Darstellung des Wellenwiderstandes eines Koaxialkabels in Abhängigkeit der Durchmesser von Innen- und Außenleiter und

Fig. 4 eine Prinzipdarstellung eines Anpassungstrichters mit Einzelleiter gemäß der Erfindung zur Erläuterung der Dimensionierung des Anpassungstrichters.

In den nachfolgenden Fig. 1 bis 4 bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

Die in Fig. 1 dargestellte Füllstandmeßvorrichtung weist eine Sende- und Empfangseinrichtung 1 mit einem Ausgang 2 auf, der beispielsweise über ein Koaxialkabel 3 mit einem elektrisch leitenden Einzelleiter 10 in Form eines Eindrahtleiters verbunden ist. Hierfür ist der Innenleiter 5 des Koaxialkabels 3 mit dem einen Ende 10a des Einzelleiters 10 elektrisch verbunden, während der Außenleiter 4 des Koaxialkabels 3 mit einem nur andeutungsweise dargestellten metallischen Montageflansch 6 für einen Füllgutbehälter verbunden ist.

Der Einzelleiter 10 ragt durch eine im Montageflansch 6 ausgebildete Öffnung 12, die in das Behälterinnere führt. Im Behälter ist ein Füllgut 15 enthalten, dessen Füllhöhe zu bestimmen ist.

Zur Füllstandmessung erzeugt die Sende- und Empfangseinrichtung 1 elektromagnetische Wellen, z. B. im Mikrowellenbereich. Diese elektromagnetischen Wellen können 5,8 GHz-Radarpulse sein, die am Ausgang 2 der Sende- und Empfangseinrichtung 1 zur Verfügung stehen. Der Radarpuls verfügt z. B. über eine Pulslänge von 1 ns, der mit einer Frequenz von 3,579 MHz erzeugt wird. Der 5,8 GHz-Radarpuls gelangt über das Koaxialkabel 3 an das eine Ende 10a des Einzelleiters 10. Hierbei wird zunächst der Einfachheit halber angenommen, daß zwischen dem Koaxialkabel 3 und dem Einzelleiter 10 optimale Anpassung herrscht. Der Radarpuls gelangt daher voraussetzungsgemäß ungestört in den Einzelleiter 10 und wird von diesem in Richtung Füllgutoberfläche 15 geführt. Die elektromagnetischen Wellen bauen um den Einzelleiter 10 herum ein elektromagnetisches Feld auf. Beim Auftreffen dieses Feldes auf die Füllgutoberfläche wird ein Teil der elektromagnetischen Wellen reflektiert, gelangt auf dem Einzelleiter 10 und dem Koaxialkabel 3 wieder zurück zum Ausgang 2 der Sende- und Empfangseinrichtung 1 und wird von der Sende- und Empfangseinrichtung 1 empfangen. Etwaige Störechos wie bei einer Ausstrahlung der elektromagnetischen Wellen über eine Antenneneinrichtung, beispielsweise eine Hornantenne, bei der die elektromagnetischen Wellen mehrmals an den Behälterwänden reflektiert werden können, treten bei der erfindungsgemäß am Einzelleiter 10 geführten elektromagnetischen Welle nicht oder weitgehend nicht auf. Dies ist besonders bei der Auswertung in der Sende- und Empfangseinrichtung 1 von großem Vorteil, da keine oder nahezu keine Störechos berücksichtigt und eliminiert werden müssen.

Die Reflexion der über den Einzelleiter 10 in Richtung Füllgut 15 geführten elektromagnetischen Welle hat seine Ursache darin, daß die Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes durch den stromdurchflossenen Einzelleiter 10 beim Auftreffen auf die Füllgutoberfläche gestört wird. Je nach Grad der Störung wird ein Teil oder aber die gesamte Welle reflektiert. Darüber hinaus bildet das Eintauchen des Einzelleiters 10 in das Füllgut 15 einen Impedanzsprung. Dieser Impedanzsprung führt zur Reflexion, die erfindungsgemäß zur Laufzeit und damit Füllstandmessung herangezogen wird.

In realiter treten bei dem Aussenden eines elektromagnetischen Impulses durch die Sende- und Empfangseinrichtung 1 mehrere Echos auf, die einmal am Ausgang 2 der Sende- und Empfangseinrichtung 1, am Übergang vom Koaxialkabel 3 zum Einzelleiter 10 und am Ende 10b des Einzelleiters 10 entstehen. Ist der Einzelleiter 10 in das Füllgut 15 eingetaucht, so entsteht ein weiteres Echo, das durch die Füllguthöhe bestimmt ist. Aus den Maxima der Echos am Übergang vom Koaxialkabel 3 zum Einzelleiter 10 und des durch das Füllgut 15 bestimmten Echos bei gefülltem Behälter läßt sich die Entfernung zwischen Übergang des Koaxialkabels 3 zum Einzelleiter 10 und der Füllgutoberfläche bestimmen. Hierfür dient zweckmäßigerweise ein in der Sende- und Empfangseinrichtung 1 vorgesehener Mikroprozessor, der zur Signalauswertung bestens geeignet ist.

Als Einzelleiter 10 kann ein flexibler elektrisch leitender Eindrahtleiter oder ein stabiles, elektrisch leitendes Rohr bzw. stabiler, elektrisch leitender Stab eingesetzt werden. Ein flexibler Eindrahtleiter ist besonders für die Füllstandmessung von großen Füllhöhen geeignet. Ist der Füllstand von Behältern mit mehreren Metern Füllhöhe zu bestimmen, kann beispielsweise der auf eine Kabeltrommel aufgewickelte Eindrahtleiter abgewickelt und mit dem Koaxialkabel 3 elektrisch verbunden werden. Zur Erzielung eines möglichst vertikal in die Füllgutoberfläche eintauchenden Eindrahtleiters ist es möglich, diesen an seinem vorderen Ende 10b mit einem geeigneten Gewicht zu versehen, wie dies beispielsweise beim elektromechanischen Lotverfahren angewandt wird.

Problematisch bei diesen flexiblen Eindrahtleitern, deren Dicke im Bereich von bis zu etwa 5 mm, vorzugsweise etwa 2,6 mm liegt, ist das Messen von Füllgütern mit unruhigen Füllgutoberflächen, wie dies beispielsweise während eines Befüllvorganges des Behälters zu beobachten ist. Während eines solchen Befüllvorganges kann ein flexibler Eindrahtleiter leicht weggerissen werden bzw. in seiner vertikalen Lage beeinträchtigt werden. Die dabei entstehenden Knicke auf dem Eindrahtleiter führen zu ungewollten Dämpfungen bei den reflektierten elektromagnetischen Wellen.

Um dieses Problem zu lösen, ist es insbesondere bei Behältern mit geringeren Füllstandhöhen zweckmäßig, stabile elektrisch leitende Rohre oder elektrisch leitende Stäbe als Einzelleiter 10 einzusetzen. Als elektrisch leitender Stab bzw. elektrisch leitendes Rohr können beispielsweise Stäbe oder Rohre eingesetzt werden, wie diese aus der kapazitiven Füllstandmessung bereits bekannt sind.

Der in Fig. 1 dargestellte Einzelleiter 10 wird zweckmäßigerweise aus Edelstahl, z. B. V4A-Stahl, hergestellt. Dies hat zum Vorteil, daß eine chemische Reaktion bzw. Zersetzung am Einzelleiter 10 durch aggressives Füllgut zumindest weitgehend ausgeschlossen ist. Darüber hinaus hat sich die Ausbildung des Einzelleiters 10 aus

Edelstahl auch dann als vorteilhaft erwiesen, wenn Lebensmittel als Füllgut verwendet werden.

Untersuchungen zeigten, daß erfindungsgemäß Einzelleiter 10 sowohl mit einer Isolierung als auch ohne Isolierung zufriedenstellend eingesetzt werden können. Ein unisolierter Einzelleiter 10 zeichnet sich jedoch durch günstigere Meßergebnisse aus, da dieser aufgrund der geringeren Dämpfung eine bessere Detektion der Reflexionen ermöglicht. Der Vergleich bezieht sich hierbei auf Einzelleiter mit gleichem Durchmesser.

Obwohl in Fig. 1 zwischen den Ausgang 2 der Sendeeinrichtung 1 und den Einzelleiter 10 ein Koaxialkabel 3 geschaltet ist, ist es auch möglich, den Einzelleiter 10 mit seinem einen Ende 10a direkt an den Ausgang 2 anzuschließen. In beiden Fällen wird in realer aufgrund der unterschiedlichen Wellenwiderstände des Ausgangs 2 bzw. des Koaxialkabels 3 und des Einzelleiters 10 ein Impedanzsprung am Übergang von Ausgang 2 zum Einzelleiter 10 bzw. Koaxialkabel 3 zum Einzelleiter 10 auftreten. Ein solcher Impedanzsprung stellt für elektromagnetische Wellen eine Stoßstelle dar, wodurch abhängig von der Größe des Impedanzsprunges ein mehr oder weniger großer Anteil der elektromagnetischen Wellen ungewollt reflektiert wird.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird deshalb ein Anpassungstrichter vorgesehen, durch den der ungewollte Impedanzsprung weitgehend beseitigt werden kann. Ein derartiger Anpassungstrichter und dessen Dimensionierung wird im Zusammenhang mit den nachfolgenden Fig. 2, 3 und 4 erläutert.

Fig. 2 zeigt wieder einen Montageflansch 6, der beispielsweise kreisförmig ausgestaltet sein kann und randseitig mit Bohrungen für Befestigungsschrauben versehen ist. Der Montageflansch 6 weist mittig eine Öffnung auf, in der ein Befestigungsklotz 14 sitzt. Der Befestigungsklotz 14 hält axial mittig einen Einzelleiter 10, der mit einem Ende 10a mit dem Innenleiter 5 eines nicht näher dargestellten Koaxialkabels elektrisch verbunden ist und mit seinem anderen Ende 10b in ein Füllgut 15 eintaucht. Der Übergang vom Innenleiter 5 des Koaxialkabels zum Einzelleiter 10 ist mit einer geeigneten Isolierung versehen. Zu diesem Zweck ist in dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel eine hülsenförmige Isolation 9 vorgesehen, die an die mittige Öffnung des Montageflansches 6 anschließt. Der Befestigungsklotz 14 sitzt mit seinem oberen Teil in dieser Isolation 9.

Der Befestigungsklotz 14 ist rohrförmig ausgebildet, wobei dessen in die Isolation 9 ragender Teil einen konstanten Durchmesser aufweist, sich jedoch in Richtung Füllgut 15 kegelförmig verbreitert. Die im Montageflansch 6 mittig angeordnete Öffnung ist entsprechend geformt. Der Befestigungsklotz 14 ragt etwas von der Unterseite des Montageflansches 6 heraus und ist mit einem ringförmigen Flansch 13 versehen, an dessen umlaufendem Rand Befestigungslöcher vorgesehen sind. Durch diese Befestigungslöcher sind Schrauben 8 geführt, die in entsprechende Bohrungen des Flansches 6 eingeschraubt sind und somit den Befestigungsklotz 14 sicher in der mittigen Öffnung des Montageflansches 6 halten.

An das untere Ende des Befestigungsklotzes 14 und den Flansch 13 ist der bereits erwähnte Anpassungstrichter lösbar oder feststehend angeschlossen. Der Anpassungstrichter ist mit dem Bezugszeichen 11 versehen und weist in seinem oberen, dem Füllgut 15 abgewandten Bereich eine rohrförmige Wandung 16 mit konstantem Durchmesser auf. An diese Wandung 16 mit kon-

stantem Durchmesser schließt sich ein längerer Abschnitt an, der ebenfalls rohrförmige Wandungen 17 aufweist, wobei sich der Durchmesser dieser Wandungen 7 in Richtung Füllgut 15 aufweitet. Der Einzelleiter 10 ist koaxial zu den Wandungen 16 und 17 des Anpassungstrichters 11 angeordnet.

Durch diesen Anpassungstrichter 11, der aus elektrisch leitendem Material bestehende Wandungen besitzt, wird eine Anpassung der Impedanz des Koaxialkabels an die Impedanz des Einzelleiters 10 erreicht.

Wird beispielsweise angenommen, daß der Einzelleiter einen Wellenwiderstand von 320 Ohm aufweist und an einen Wellenwiderstand von 50 Ohm des in Fig. 1 dargestellten Ausgangs 2 bzw. an einem Wellenwiderstand von 50 Ohm des Koaxialkabels 3 anzuschließen ist, so wird durch einen geeignet dimensionierten Anpassungstrichter 11 der am Übergang von 50 Ohm auf 320 Ohm auftretende Impedanzsprung entschärft, indem die 50 Ohm langsam auf 320 Ohm transformiert werden.

Wie das Diagramm von Fig. 3 zeigt, hängt der Wellenwiderstand eines Koaxialkabels vom Verhältnis des Durchmessers D des Außenleiters zum Durchmesser d des Innenleiters ab. Wird bei einem Innenleiter mit gleichbleibendem Durchmesser d der Durchmesser D des Außenleiters ständig größer, steigt zugleich der Wellenwiderstand kontinuierlich an. Dies wird bei der Dimensionierung des erfindungsgemäßen Anpassungstrichters 11 ausgenutzt. Dabei ist darauf zu achten, daß der Durchmesser D des Außenleiters möglichst langsam ansteigt, um nur eine allmähliche Impedanzänderung hervorzurufen und somit eine Reflexion der elektromagnetischen Wellen möglichst zu vermeiden. Durch das Vorsehen eines Anpassungstrichters 11 und der damit verbundenen langsamen Impedanzänderung wird die elektromagnetische Welle nicht mehr so stark reflektiert und die Leistung des Wellenanteils, der auf den Einzelleiter 10 gelangte sowie ein entstehendes Echo größer.

Die Darstellung von Fig. 4 dient zur Erläuterung, wie idealerweise der Anpassungstrichter 11 zu dimensionieren ist, wenn der Einzelleiter einen Wellenwiderstand von 250 Ohm aufweist und an einen Wellenwiderstand von 50 Ohm anzupassen ist. Das Verhältnis D_1/d des Durchmessers D_1 der elektrisch leitenden Wandung des Anpassungstrichters 11 im Bereich des Einspeisepunktes der elektromagnetischen Wellen ist in einfacher Weise aus dem Diagramm von Fig. 3 entnehmbar, indem das für den Wellenwiderstand von 50 Ohm zugehörige Verhältnis D/d abgelesen wird. Das gleiche gilt für das Verhältnis D_2/d im Bereich des unteren Endes des Anpassungstrichters 11. Hier muß das Verhältnis D/d für den Wellenwiderstand von 250 Ohm abgelesen werden.

Mit der erfindungsgemäßen Füllstandmeßvorrichtung können Füllstandhöhen sowohl von elektrisch leitenden als auch nichtleitenden Füllgütern bestimmt werden. Darüber hinaus können im Gegensatz zur Füllstandmessung mit über Antennen abgestrahlten elektromagnetischen Wellen auch Füllhöhen von Flüssigkeiten und granulierten Festkörpern gemessen werden. Es hat sich darüber hinaus herausgestellt, daß die Konstruktion der Flanschdurchführung in das Behälterinnere bei einem Durchmesser von weniger als etwa 5 mm des Einzelleiters 10 unkritisch ist. Lediglich bei dickeren Einzelleitern 10 sollte der vorgestellte Antennentrichter 11 anmontiert werden.

Die Einsatzbereiche des erfindungsgemäßen Füll-

standmeßgerätes sind dort prädestiniert, wo Ultraschall- und Radar-Messung aufgrund zuviel er Fehlchos oder wegen zu kleiner Körnung des Füllgutes oder ähnliches ausscheiden.

Bezugszeichenliste

1	Sende- und Empfangseinrichtung	
2	Ausgang	
3	Koaxialkabel	
4	Außenleiter	10
5	Innenleiter	
6	Montageflansch	
7	Bohrung	
8	Schraube	15
9	Isolation	
10	Einzeileiter	
11	Anpassungstrichter	
12	Öffnung	
13	Flansch	20
14	Befestigungsklotz	
15	Füllgut	
16	Wandung	
17	Wandung	
d	Durchmesser des Innenleiters	25
D	Durchmesser des Außenleiters	
D1	Anfangsdurchmesser des Anpassungstrichters	
D2	Enddurchmesser des Anpassungstrichters	
10a	ein Ende	
10b	anderes Ende	30

Patentansprüche

1. Füllstandmeßvorrichtung mit einer Sende- und Empfangseinrichtung (1) und einen mit einem Ende (10a) an die Sende- und Empfangseinrichtung (1) gekoppelten Wellenleiter, welcher mit seinem anderen Ende (10b) zum Eintauchen in ein Füllgut (15) vorgesehen ist und welchem von der Sende- und Empfangseinrichtung (1) elektromagnetische Wellen zuführbar sind, wobei im Wellenleiter reflektierte elektromagnetische Wellen in der Sende- und Empfangseinrichtung (1) zur Füllstandmessung auswertbar sind, dadurch gekennzeichnet sind, daß der Wellenleiter ein Einzeileiter (10) ist, auf welchem die elektromagnetischen Wellen geführt werden, wobei der Einzeileiter (10) direkt oder über ein Übertragungskabel (3) an die Sende- und Empfangseinrichtung (1) angeschlossen ist.
2. Füllstandmeßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeileiter (10) ein Eindrahtleiter ist.
3. Füllstandmeßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeileiter (10) als elektrisch leitendes Rohr oder elektrisch leitender Stab ausgebildet ist.
4. Füllstandmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeileiter (10) aus Edelstahl gebildet ist.
5. Füllstandmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeileiter (10) unisoliert ist.
6. Füllstandmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Übertragungskabel (3) ein Koaxialkabel ist, dessen Innenleiter (5) mit dem Einzeileiter (10) elektrisch verbunden ist.
7. Füllstandmeßvorrichtung nach einem der An-

sprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeileiter (10) an seinem eingangsseitigen einem Ende (10a) von einem elektrisch leitenden Anpassungstrichter (11) umgeben ist.

8. Füllstandmeßvorrichtung nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Außenleiter (4) des Koaxialkabels (3) mit dem Anpassungstrichter (11) elektrisch leitend verbunden ist.

9. Füllstandsmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllstandsmessung nach dem Impulslaufzeit-, Chirp- oder CW/FMCW-Radarverfahren erfolgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

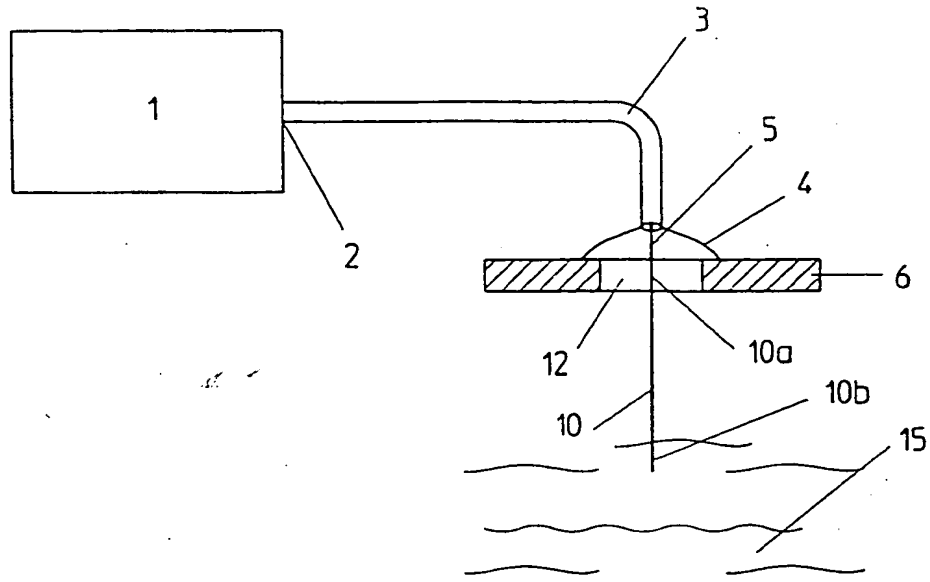


Fig. 1

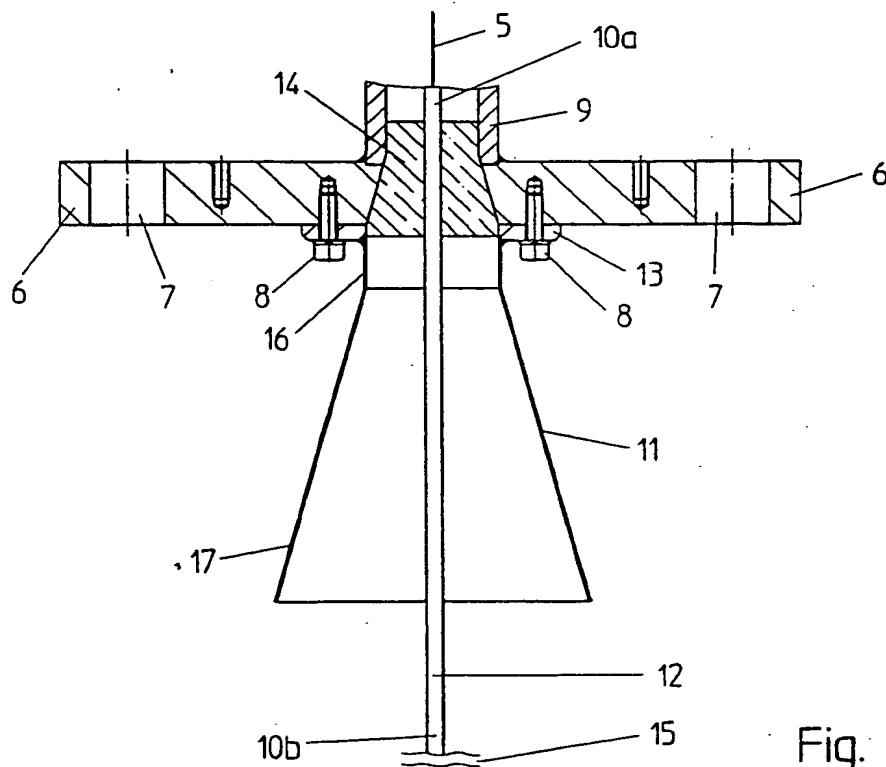


Fig. 2

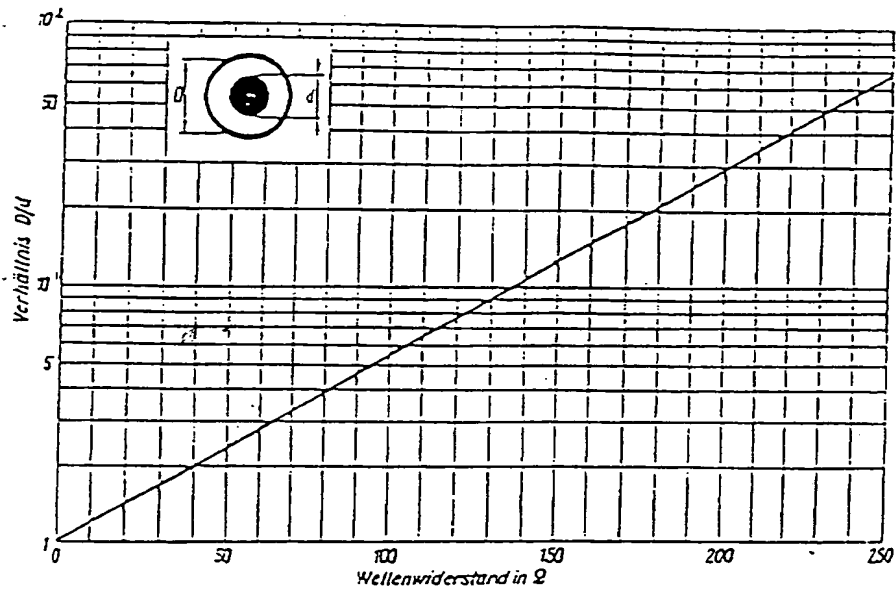


Fig. 3

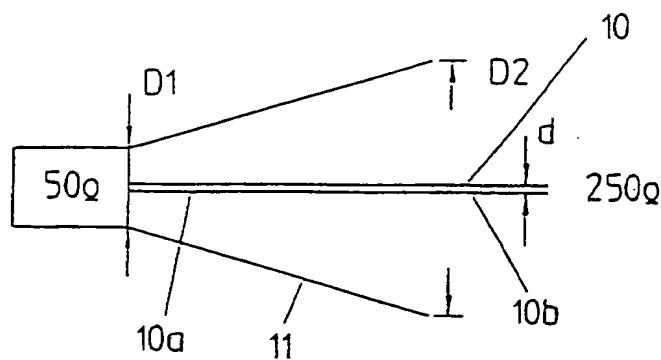


Fig. 4